

*А. С. Соколов,
ассистент кафедры экологии Гомельского
государственного университета имени Ф. Скорины*

СОЗДАНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ МОДЕЛЕЙ ПОВЕРХНОСТИ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ГЛОБАЛЬНЫХ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ РЕЛЬЕФА

Цифровые модели рельефа и возможности их использования

Рельеф является одним из важнейших элементов природной среды и изучается на протяжении всего курса географии в рамках большого количества тем общей и региональной географии. При рассмотрении любых участков суши и Мирового океана изучается их рельеф и его влияние на другие компоненты природной среды, большое внимание уделяется рельефу как фактору, оказывающему существенное влияние на природные характеристики геосистем, их экологическое состояние, хозяйственную деятельность человека и качество среды его существования. Характеристика и изучение рельефа является неотъемлемой частью научно-исследовательской работы школьников по физической географии и ряду смежных наук, в особенности экологии. На стыке экологии и геоморфологии сформировалась даже отдельная отрасль знаний — экологическая геоморфология, изучающая «взаимосвязи и результаты взаимодействий геоморфологических систем любого ранга с системой экологии человека» [1]. Учёт особенностей рельефа обязателен при изучении экологических рисков, прогнозе изменений природной среды под влиянием деятельности человека, оценке устойчивости

и экологического состояния геосистем, потоков (в том числе антропогенных) химических элементов в ландшафтах, эрозионных процессов, условий заболачивания, местообитаний экосистем и видов живых организмов, обнаруживающих связь с положением в ландшафтно-геохимическом ряду, и т. д.

Моделирование и изучение рельефа с применением геоинформационных технологий позволит освоить и применить в процессе обучения ряд дидактических возможностей, не доступных при использовании обычных бумажных (аналоговых) карт. К их числу относятся:

- визуализация рельефа в выбранной цветовой гамме, масштабе и границах;
- быстрое построение геоморфологических профилей, зон видимости/невидимости;
- выделение областей с заданными значениями высот или углов наклона;
- создание производных карт — карт уклонов рельефа, направлений уклонов, а на их основе — карт эрозионной опасности, направлений поверхностного стока, геохимической миграции элементов, устойчивости ландшафтов и т. п.;
- вычисление морфометрических показателей: истинных площадей (отличающихся от площадей проекции мест-

ности на плоскость, которую можно вычислить с помощью бумажной карты), объёмов, длин, доли площади выше (ниже) определённого высотного уровня или большим (меньшим) относительно заданного углом наклона.

Математические и компьютерные модели, позволяющие реализовать указанные возможности, получили название **цифровые модели рельефа (ЦМР)** (англ. *DEM — Digital Elevation Model*). Согласно отраслевому стандарту ОСТ ВШ 02.001-97 (геоинформатика и географические информационные системы) цифровая модель рельефа — это файл значений высотных отметок, приуроченных к узлам достаточно мелкой регулярной сети и организованных в виде прямоугольной матрицы, представляющей собой цифровое выражение высотных характеристик рельефа на топографической карте. Её отличие от моделей других объектов заключается в том, что для каждой точки земной поверхности могут быть определены не только плановые координаты (X и Y), но и третья координата — Z . Причём в качестве координаты Z в цифровой модели могут выступать, кроме реальных значений высот рельефа, различные другие показатели и характеристики: атмосферное давление, тем-

пература воздуха, осадки, пластовое давление нефти, геофизические поля, концентрация загрязняющих веществ и др. Теоретические основы компьютерного моделирования поверхностей и примеры его практического использования в географии и геоэкологии подробно рассматриваются в учебном пособии [2].

Основными источниками данных для создания ЦМР могут являться:

- результаты полевых натурных наблюдений с использованием GPS-навигаторов или геодезических приборов;
- использование данных уже существующих цифровых моделей рельефа и баз данных;
- материалы космической стереоскопической съёмки спутниками дистанционного зондирования Земли (например, спутники QuickBird, GeoEye, WorldView и др.);
- оцифровка изолиний рельефа топографических и географических карт;
- использование данных глобальных цифровых моделей рельефа.

Для использования в учебных целях педагогам, не имеющим специальной подготовки, наиболее реально создавать модели рельефа различного масштаба и подробности на основе двух последних источников данных.

Глобальная цифровая модель рельефа SRTM: характеристика и источники

Глобальные цифровые модели рельефа — это ЦМР, охватывающие всю или почти всю территорию Земли [3]. Такие модели создаются в рамках крупных научных проектов международными, государственными или коммерческими организациями. Некоторые из них находятся в открытом (бесплатном) доступе в сети Интернет.

Такая модель представляет собой растровое (то есть состоящее из неделимых элементов-пикселей) изображение, для каждого пикселя которого определено значение абсолютной высоты. Размер земной поверхности, соответствующий одному пикселу, определяет *пространственное*

разрешение модели. Оно может составлять для разных моделей от 10 м до 1 км.

Рассмотрим в качестве примера одну из наиболее известных глобальных цифровых моделей рельефа *SRTM — Shuttle radar topographic mission* (Радиолокационная топографическая миссия шаттла). Она была создана на основе радиолокационной съёмки поверхности Земли, осуществлённой с 11 по 22 февраля 2000 г. с помощью аппаратуры, установленной на борту американского космического корабля многоцелевого использования (шаттла) «Индевор». Зона, охваченная съёмкой, располагалась между 60° с. ш. и 54° ю. ш. Всего было собрано более 12 терабайт данных, кото-

рые в течение двух лет проходили обработку специалистами NASA. В результате получена цифровая модель рельефа (ЦМР) в растровой форме. Данные съёмки представляют собой набор файлов, каждый из которых покрывает территорию размером 1×1 градус. Разрешение равно одной угловой секунде (30 м) для территории США (SRTM1) и трём угловым секундам в одном пикселе (90 м) для всего остального мира (SRTM3). Такой квадрат является матрицей размером 1201×1201 элементов (пикселей), а для SRTM3 — 3601×3601 . Каждому пикселу присвоена высотная отметка в метрах, высотное разрешение составляет 1 м. При этом необходимо помнить, что особенностью SRTM является тот факт, что модель содержит данные не о топографической, а об отражательной поверхности — т. е. высота деревьев, кустарников, снежного покрова и т. д., от которых отражался радиосигнал, а на застроенных территориях — высота некой осреднённой поверхности [4]. Однако с увеличением размеров территории данный фактор становится менее существенным.

Применение радиовысотных данных о рельефе является хорошей альтерна-

тивной данным, полученным традиционными методами (в особенности данным о рельефе территории, снятым с топографических карт, которым присущ ряд недостатков, связанных со способом изображения рельефа в виде системы изолиний) [5]. В работах, затрагивающих вопрос об оценке точности высотных данных SRTM, говорится об их применимости в качестве альтернативного источника информации [6]. В частности, А. В. Погорелов делает вывод о вполне достаточной точности ЦМР, построенных по данным SRTM, для выполнения распространённых операций морфометрического анализа в масштабном ряду, характерном для исследования типичных геоморфологических объектов, например речных бассейнов [7]. Как мировые геоинформационные ресурсы спутниковые данные о высотах могут служить базой или дополнительным источником информации о самых различных территориях для проведения исследований глобального и регионального масштабов [5].

Файлы высот модели SRTM можно свободно скачать с сайта <http://srtm.csi.cgiar.org> (рис. 1).

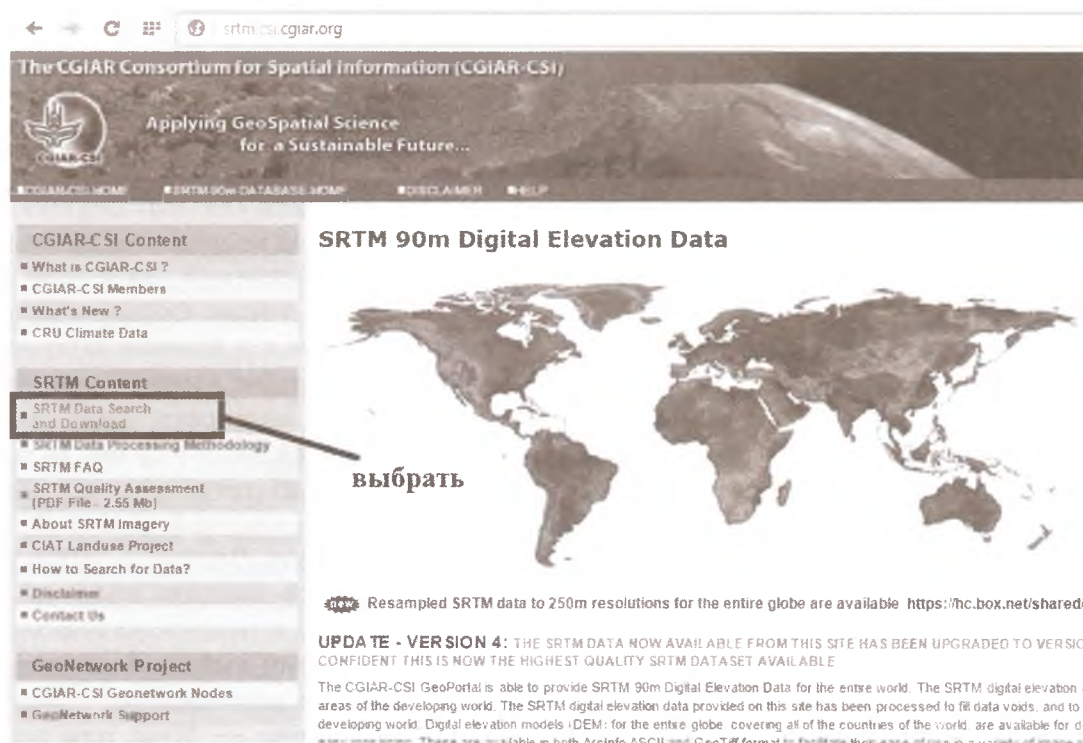


Рисунок 1 — Интерфейс сайта с данными SRTM

На странице в левой панели необходимо выбрать «*SRTM Data Search and Download*» (см. рис. 1), после чего открывается страница поиска и выбора данных

(рис. 2). На этой странице необходимо выбрать те территории, данные о высотах которых необходимо скачать. Для этого надо выполнить следующие этапы.

The screenshot shows the 'SRTM Data Selection Options' page. It includes a header for 'The CGIAR Consortium for Spatial Information (CGIAR-CSI)' and a navigation bar. The main content area has three sections: 1. Select Server (with options like CGIAR-CSI (USA), HarvestChoice (USA), JRC (IT), King's College (UK), and TelsScience (USA)), 2. Data selection method (with options like Multiple Selection, Enable Mouse Drag, and Input Coordinates), and 3. Select File Format (with options like GeoTiff and ArcInfo ASCII). Below these sections are input fields for coordinates in Decimal Degrees, Degrees Minutes Seconds, and a world map for selecting the area of interest. The map shows the Americas, Europe, Africa, and Australia.

координаты
в десятичном
формате

координаты в
формате
"градусы --
минуты --
секунды"

Рисунок 2 — Интерфейс страницы выбора данных для скачивания

В пункте 1. *Select Server*, необходимо выбрать сервер, с которого будут скачиваться данные (надо оставить вариант CGIAR CSI (USA)).

В пункте 2. *Data Selection Method*, необходимо указать способ выбора данных. Если выбран вариант *Multiple Selection*, то нужный участок или участки следует отмечать мышью на карте в нижней части страницы. Если выбран вариант *Input Coordinates*, как на рисунке 2, то необходимо ввести координаты границ нужной территории — минимальную и максимальную широту (latitude) и минимальную и максимальную долготу (longitude). При этом нужно выбрать формат вводимых координат:

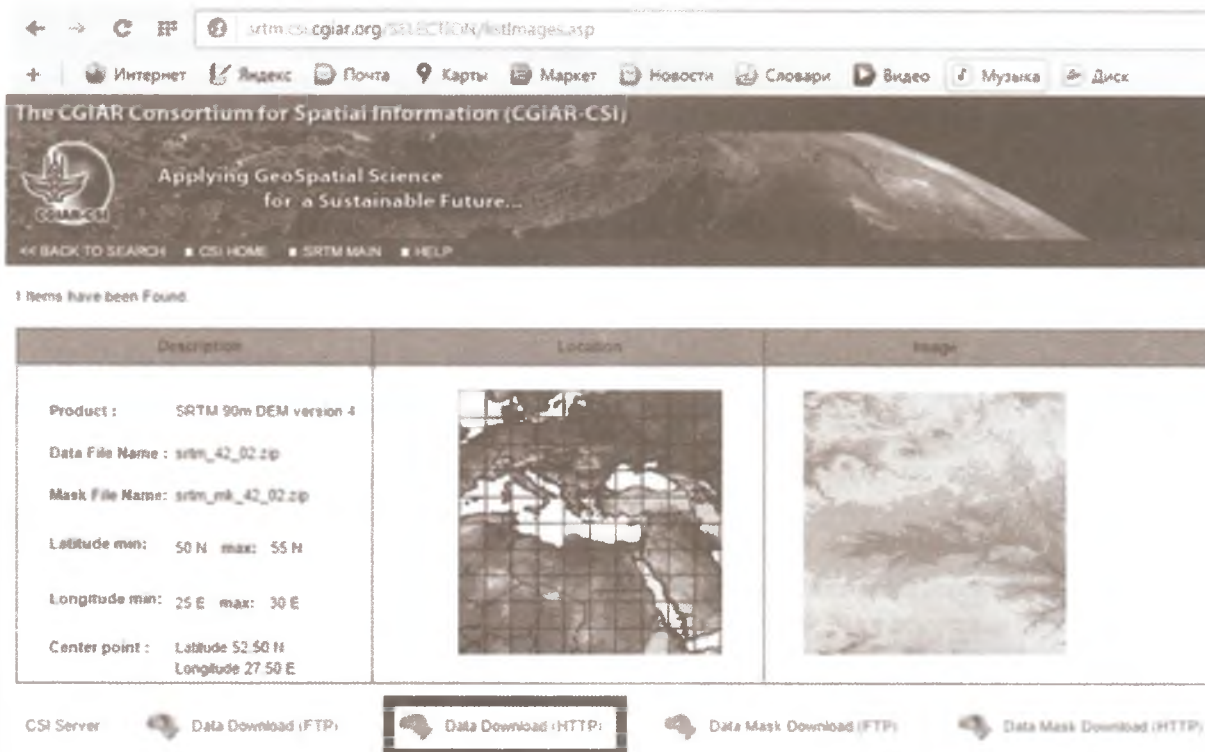
а) если выбрать *Decimal Degrees*, тогда нужно вводить координаты в десятичном формате, например, 34,5 (при этом помнить, что в таком формате координаты в Западном и в Южном полушарии вводятся со знаком «минус» перед самым значением, например, если для долготы указать «24,5», то будет 24,5 градуса восточной долготы, а если «-24,5», то 24,5 градуса западной долготы);

б) если выбрать *Degrees — Minutes — Seconds*, то надо вводить градусы, минуты и секунды в предназначенные для этого окна, а затем выбирать широту (северную — North или южную — South) и долготу (западную — West или восточную — East).

В пункте 3. *Select File Format* необходимо выбрать GeoTIFF (тогда данные будут скачаны в виде изображения в графическом формате .tif с уже заложенными в него географическими координатами, что позволяет использовать его без дополнительных преобразований в геоинформационных системах) либо ArcInfo

ASCII (тогда данные будут скачаны в виде текстового файла, в котором значения высоты каждого пиксела в каждой строке будут представлены числом).

После выбора участка для скачивания данных необходимо нажать на кнопку *Click Here to Begin Search >>* и перейти к странице скачивания данных (рис. 3).



загрузка данных

Рисунок 3 — Интерфейс страницы скачивания файлов высот

На этой странице в левом окне *Description* показано описание данных: название файла (*Data File Name*), которое состоит из номера столбца и строки для выбранного фрагмента (например, на рисунке 3 файл называется *srtm_42_02*, что означает фрагмент из 42 столбца 2 строки карты на рисунке 2, где все строки и столбцы фрагментов пронумерованы), название файла маски водных объектов (*Mask File Name*), который содержит изображения водных объектов в фрагменте, для которых нет данных о высотах, минимальная и максимальная широта и долгота фрагмента, координаты центра фрагмента. В сред-

нем окне *Location* показано местоположение выбранного фрагмента (фрагментов) в более крупном масштабе, а в правом окне *Image* — уменьшенная копия изображения рельефа фрагмента для предварительного ознакомления.

Непосредственно процесс загрузки данных запускается кнопкой *Data Download (HTTP)* (см. рис. 3). В результате будет получен архив, в котором файл с расширением .tif (в данном примере *srtm_42_02.tif*) и будет представлять собой изображение, содержащее сведения о высотах каждого пиксела размером 90×90 м на фрагменте местности 5×5 градусов.

Визуализация модели рельефа в ГИС Global Mapper

Сам по себе скачанный файл изображения слабо пригоден для работы. Большую ценность представляет заложенная в нём информация о координатах и высотах каждого пиксела, которую можно визуализировать в геоинформационных системах (ГИС) и строить на её основе разнообразные модели рельефа и модели, производные от них.

Существует большое количество ГИС, способных работать с данными SRTM. Одной из наиболее подходящих для этого является ГИС Global Mapper. Данную ГИС (как англо- так и русскоязычную версию) возможно легко скачать в Интернете, используя инструмент поиска, например, <http://google.ru> и установить на персональный компьютер. Интерфейс программы показан на рисунке 4.

Нажав на кнопку **Открыть файлы с данными**, необходимо выбрать загруженный и разархивированный файл изображения данных SRTM и открыть его.

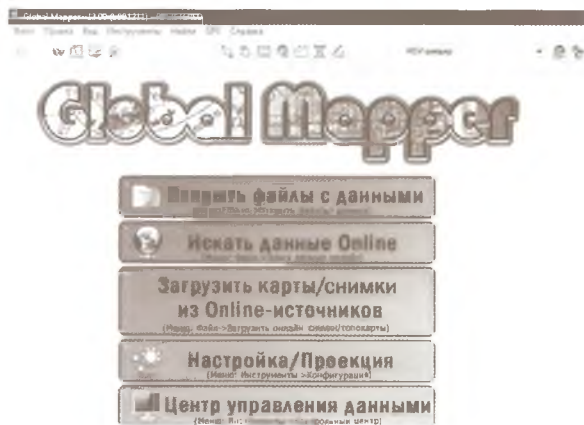


Рисунок 4 — Интерфейс ГИС Global Mapper

Изображение визуализируется на экране (рис. 5). В левой части экрана появляется шкала высот, в нижнем правом углу — масштабная линейка. При этом можно выбрать особенности визуализации в выпадающем меню панели инструментов (элемент 17 на рис. 6). Выбрав различные варианты (*Atlas шейдер*, *Color Rmapr шейдер*, *Глобальный шейдер*, *HSV шейдер*) можно добиться разных вариантов цветной окраски изображения. Выбор варианта *Градиент* позволит раскрасить изображение оттенками серого цвета, *Шейдер уклонов* присваивает цвет пикселям в зависимости от величины наклона поверхности, а *Раскраска направлений уклонов* — в зависимости от величины азимута направления уклона.

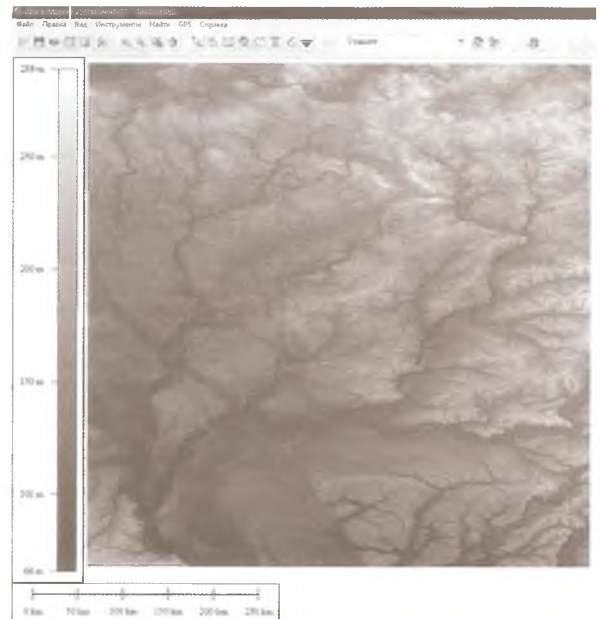


Рисунок 5 — Загруженное изображение SRTM

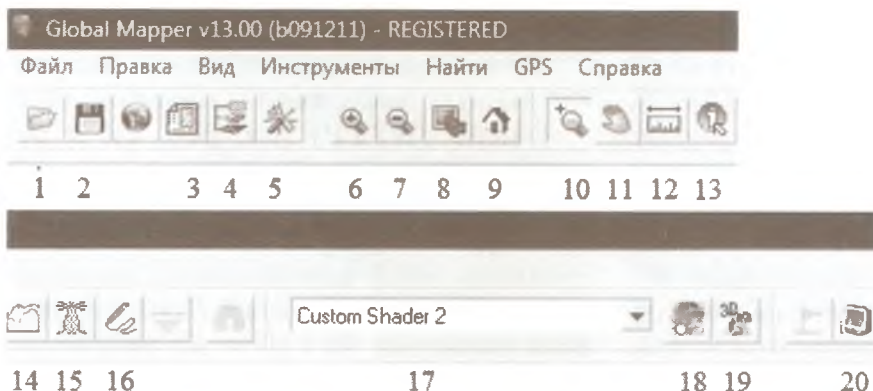


Рисунок 6 — Панель инструментов ГИС Global Mapper

Можно также и самостоятельно сформировать цветовую гамму, выбрав вариант *Добавить настроенный шейдер* (последний пункт выпадающего меню). При этом появляется окно *Настраиваемый шейдер* (рис. 7), где можно задать диапазоны высот требуемой детальности (вплоть до 1 м) и цвет для каждого диапазона, выбрать характер перехода между соседними цветами (плавный или резкий), задать название шейдеру. После создания шейдер появится в списке выпадающего меню под заданным названием. Вернуться к редактированию шейдера можно с помощью кнопки **Конфигурация** панели инструментов (элемент 5 на рис. 6), где выбрать вкладку *Настройки шейдера*, внизу вкладки — название нужного шейдера и нажать кнопку **Изменить**.

В окне *Конфигурация* также можно выбрать проекцию, в которую будет преобразовано изображение в одноимённой вкладке.

Как и в любой ГИС, в Global Mapper реализована возможность открытия и совмещения сразу нескольких слоёв. В частности, изображение рельефа можно совместить с векторным слоем контуров административных единиц территории, что позволит значительно лучше ориентироваться на слое.

Получить такой слой можно на сайте <http://gadm.org>, где создана глобальная база данных административных единиц с возможностью их бесплатного скачивания. Для скачивания слоёв с контурами административных единиц любой страны необходимо выбрать вкладку *Download* в верхней части главной страницы сайта. На открывшейся странице загрузки в разделе *Country* выбрать нужную страну, а в разделе *File Format* выбрать *Shapefile*. Затем нажать **OK** и далее — **Download**. Будет скачан архив с большим количеством файлов. Все эти файлы необходимо обязательно хранить в одной папке и не перемещать по отдельности, так как они взаимосвязаны. Открывать следует файлы с расширением *.shp* (это наиболее распространённый векторный формат, который могут

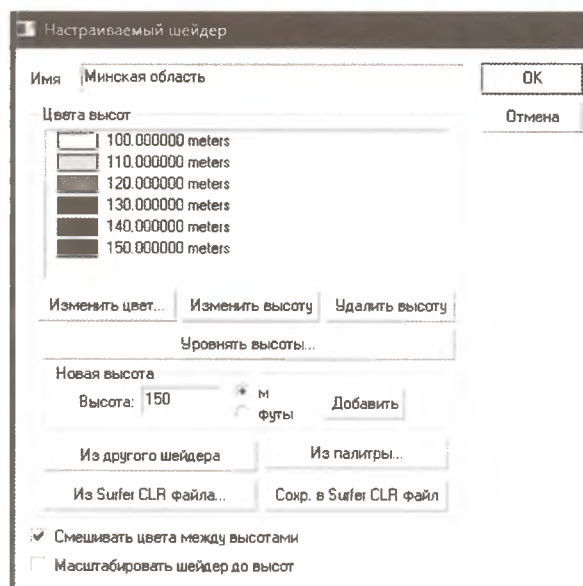


Рисунок 7 — Окно «Настраиваемый шейдер»

читать любые ГИС; для файлов в таком формате существует устоявшееся наименование «шейп-файлы»). Для каждой страны существует три шейп-файла: в первом (для Беларуси, к примеру, он называется *BLR_adm0.shp*) — контуры страны целиком, во втором (*BLR_adm1.shp*) — административные единицы первого порядка (для Беларуси области), а в третьем (*BLR_adm2.shp*) — административные единицы второго порядка (районы). Любой из этих трёх шейп-файлов можно открыть в Global Mapper (команда **Файл > Открыть файл(ы) данных**), и контуры соответствующих единиц будут наложены на изображение рельефа.

Каждую административную единицу можно закрасить или заштриховать с помощью различных вариантов штриховки и цвета либо сделать полностью прозрачной, а также выбрать форму и цвет линий границ между регионами. Для этого необходимо нажать кнопку **Информация** панели инструментов (элемент 13 на рис. 6) и затем нажать курсором на нужный регион. Появится окно *Информация объекта* (рис. 8), в котором нажать **Правка**, затем появится окно *Изменение данных объекта*, в котором выбрать **Задать стиль рендеринга** и нажать кнопку **Настроить**. Появится окно *Выбор стиля области*, где

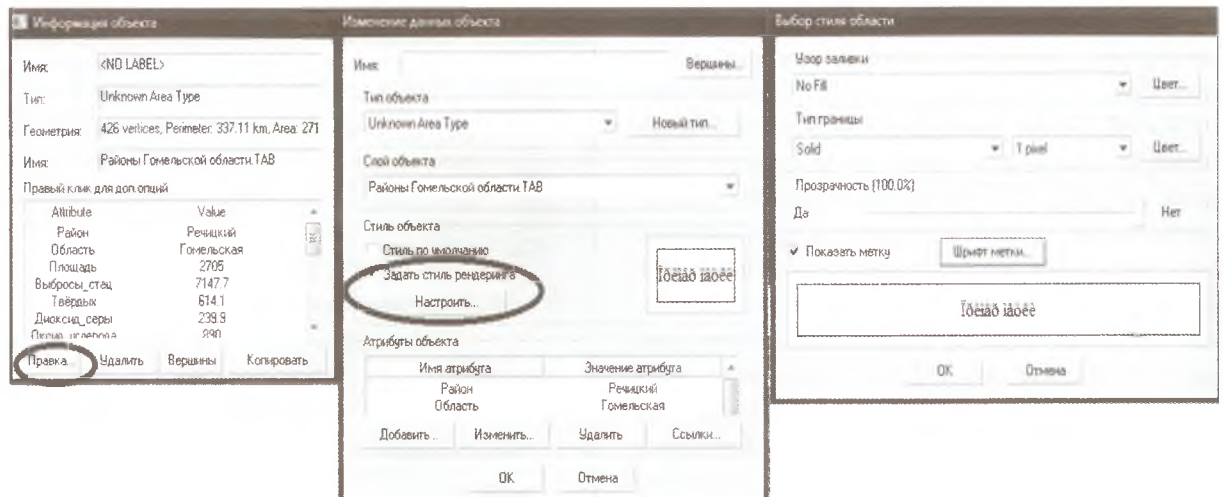
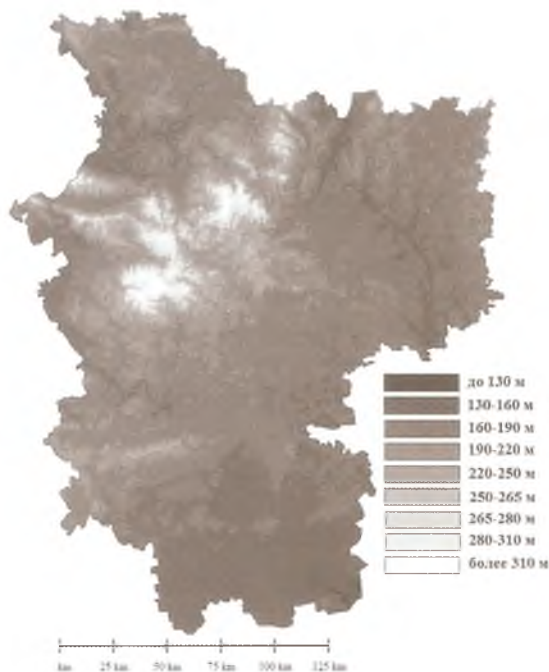


Рисунок 8 — Оформление элементов векторного слоя

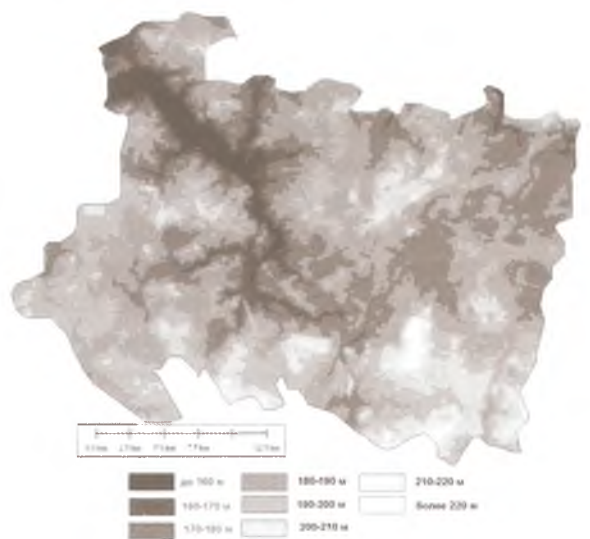
в меню «Узор заливки» можно выбрать вариант штриховки или сплошной заливки (при этом No Fill — отсутствие заливки, а Solid Fill — сплошная заливка), выбрать цвет заливки или штриховки (кнопка Цвет справа). В меню «Тип границы» можно выбрать стиль, толщину и цвет линий границы. Например, если интересует рельеф какого-то определённого района, то соседние с ним районы можно окрасить в белый цвет, чтобы в итоге получилась карта только нужно-

го региона, как, например, на рисунке 9. В данном примере использованы оттенки серого, при использовании же различных цветов можно добиться достаточно подробной и хорошо читаемой карты с меньшим шагом высот.

Зачастую возникает необходимость очистить изображение от «шума» — мелких скоплений в несколько пикселей, относящихся к другому диапазону высот, чем их фон, и создающую таким образом ненужную «пестроту» изображения. Такая процедура называется фильтрацией и имеет сходство с картографической генерализацией. Автоматическая векторизация рас-



а



б

Рисунок 9 — Двухмерная ЦМР Минской области (а) и Несвижского района (б)

тровых изображений доступна в графических программах, например CorelDRAW. Для этой программы последовательность действий следующая: создать новый чистый документ командой **Файл > Создать**, затем открыть растровый графический файл командой **Файл > Импорт**, после чего выбрать команду **Растровые изображения** и один из способов трассировки (**Быстрая трассировка** или **Трассировка абрисом > Изображение высокого (низкого) качества**), отличающиеся друг от друга степенью обобщения элементов изображения. Вариант трассировки выбирается в каждом конкретном случае.

Кнопка **3D пусть профиль/линия зрения** (элемент 14, рис. 6) позволяет строить гипсометрические профили через рассматриваемую территорию. После нажатия данной кнопки необходимо левой кнопкой мыши указать начало профиля и, если необходимо, — точек поворота профиля, а правой кнопкой — точку окончания профиля. В результате откроется отдельное окно с изображением профиля (рис. 10), где можно также вычислять объёмы и определять линию зрения на разных высотах, сохранять изображение как отдельный графический файл и т. д.

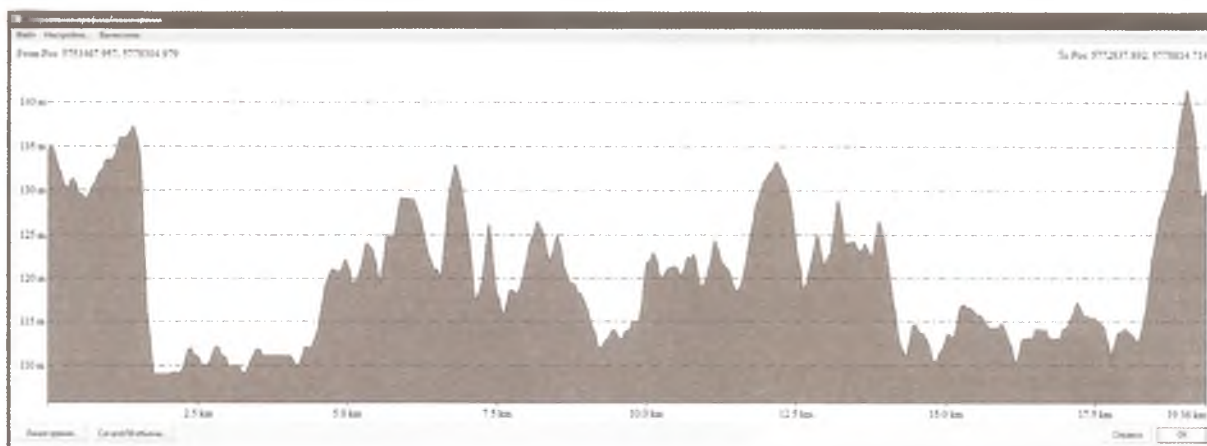


Рисунок 10 — Гипсометрический профиль

Кнопка **Анализ излучений** позволяет определять зоны видимости/невидимости, то есть территории, находящиеся в прямой видимости от заданной точки с заданной высоты. После нажатия данной кнопки следует курсором выделить точку, для которой будут определяться зоны, в появившемся окне **Настройки излучателя** определить высоту передатчика и высоту приёмника, радиус и угол обзора. После нажатия **ОК** территории, находящиеся в прямой видимости при заданных параметрах, будут выделены цветом (рис. 11)

Выделенные цветом зоны будут находиться на отдельном слое, поэтому будут сохранены даже после закрытия изображения рельефа и могут быть наложены и на другие изображения данной территории (карты, топопланы и т. д.).

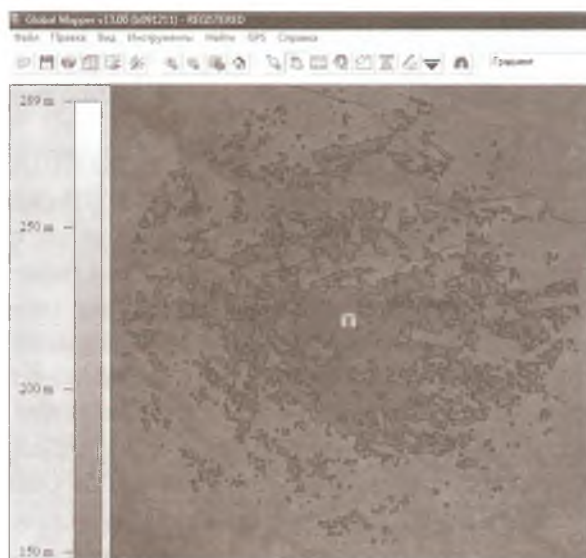


Рисунок 11 — Выделение зон видимости

Другие кнопки панели инструментов имеют следующие функции:

- **Настройка схемы карты** (элемент 3 на рис. 6) — позволяет настроить необходимые параметры оформления карты;
- **Открыть центр управления** (4) — открывает окно, где показаны все открытые слои, и в котором можно слои скрыть, закрыть, поменять местами и т. д.;
- **Увеличить** (6) и **Уменьшить** (7) — увеличивает и уменьшает размер изображения;
- **Восстановить последний вид** (8) — восстанавливает предыдущий вид;
- **Показать всё** (9) — устанавливает размер изображения таким, чтобы на мониторе были видны все объекты всех открытых слоёв;
- **Зум** (10) — позволяет выделить и приблизить определённый фрагмент изображения;
- **Перетаскивание** (11) — позволяет перемещаться по изображению.

Кнопка **3D вид** (19) — позволяет перейти к трёхмерному изображению в отдельном

окне (рис. 12) с интуитивно понятной панелью инструментов. В данном окне можно «гулять» по 3D-модели, увеличивать и уменьшать масштаб высот, подниматься или опускаться над поверхностью, рассматривать её под разными углами и т. д. Если кроме слоя изображения рельефа открыт и другой слой, например, на изображение наложена топокарта, то она тоже может принимать трёхмерный вид и таким образом легко осуществляется переход от любого двухмерного изображения к трёхмерному.

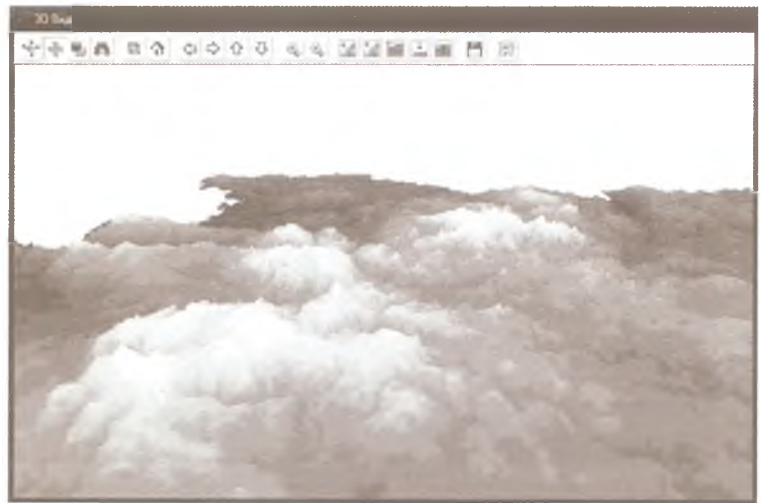


Рисунок 12 — Трёхмерная ЦМР Минской области

Другие глобальные цифровые модели рельефа

Модель SRTM является хотя и наиболее распространённой, однако не первой и не единственной глобальной цифровой моделью рельефа.

В 1996 г. Геологической службой США была разработана модель GTOPO30 (Global 30 Arc-Second Elevation) в виде растра с размером ячейки 30 угловых секунд (приблизительно 900 м). Результирующая сетка содержит 21 600 строк и 43 200 столбцов пикселей. GTOPO30 был получен от нескольких растровых и векторных источников топографической информации. Для более лёгкого распространения GTOPO30 состоит из фрагментов (тайлов), которые по отдельности могут быть выбраны для скачивания на сайте http://www.webgis.com/terr_world.html. Ухудшают качество информации регулярный шум, чередующиеся полосы и другие артефакты. Данные для океанов отсутствуют.

На смену модели GTOPO30 пришла значительно усовершенствованная модель GMTED2010 (Global Multi-resolution Terrain Elevation Data 2010). Она доступна в трёх разрешениях: 30 угловых секунд (приблизительно 900 м), 15 угловых секунд (500 м) и 7,5 угловой секунды (250 м). ЦМР охватывает область земного шара между 84° северной и 56° южной широты. Некоторые области, а именно Гренландия и Антарктида, не представлены в разрешениях 15 и 7.5 угловой секунды в силу

того, что использованные для этих областей источники не поддерживали такое разрешение. Качество данных существенно выше. Для создания также использовалось множество растровых и векторных источников, в том числе данные SRTM. Данные GMTED2010 есть по адресам http://topotools.cr.usgs.gov/gmted_viewer/viewer.htm и <https://lta.cr.usgs.gov/GMTED2010>. В последнем случае модель представлена в виде единого документа в формате шейп-файла.

Ещё одна глобальная цифровая модель рельефа ETOPO2 в отличие от предыдущих включает как наземный, так и подводный рельеф. ETOPO2 создан на основе нескольких источников, для топографии суши использовались данные проекта GLOBE — Global Land One-kilometer Base Elevation (разрешение 30 угловых секунд, 1 км), для батиметрии основной части морской поверхности — определённым образом обработанные данные радарной альтиметрической съёмки 1978 г., совмещённые с данными по гравитационным аномалиям для получения глубин.

Скачать данные ETOPO2 в виде файла формата GeoTIFF можно по адресу <http://gis-lab.info/data/etopo2/etopo2.tif.7z>. Файл представляет собой единую матрицу размером 10800x5400 пикселей. Данные находятся в географической системе координат, эллипсоид — WGS84. Кроме того, пользователи программных продуктов фирмы ESRI могут скачать модель с сайта <http://gis-lab.info/data/etopo2/etopo2.rar>.

Данные ETOPO2 можно применить в учебной и учебно-исследовательской работе для визуализации рельефа крупных территорий — материков, океанов, физико-географических стран и т. д.

Модель ACE2 — Altimeter Corrected Elevations 2 — создана в Лаборатории дистанционного зондирования Земли и планет (Великобритания) (данные доступны по адресу <ftp://tethys.eaprs.cse.dmu.ac.uk>). ACE2 доступна в четырёх разрешениях: 3 угловые секунды (приблизительно 90 м), 9 угловых секунд (270 м), 30 угловых секунд (900 м) и 4 угловые минуты (7,2 км).

Список использованных источников

1. Тимофеев, Д. А. Экологическая геоморфология: объект, цели и задачи / Д. А. Тимофеев // Геоморфология. — № 1. — 1991. — С. 43—48.
2. Хромых, В. В. Цифровые модели рельефа: учеб. пособие / В. В. Хромых, О. В. Хромых. — Томск: ТМЛ-пресс, 2007. — 178 с.
3. Кутинов, Ю. П. Цифровые модели рельефа и геоинформационные технологии для анализа эрозионных процессов на севере Русской плиты [Электронный ресурс] / Ю. П. Кутинов, А. П. Минеев // Материалы Междунар. форума «Интеграция геопространства — будущее информационных технологий», компания «СОВЗОНД», 15-17 апреля 2015 г. — Режим доступа: ftp://ftp.sovzond.ru/forum/2015/Тезисы/pdf_rus/Abstract_Kutinov_rus.pdf. — Дата доступа: 28.10.2015.
4. Оньков, И. В. Оценка точности высот SRTM для целей ортотрансформирования космических снимков высокого разрешения / И. В. Оньков // Геоматика. — № 3. — 2011. — С. 40—46.
5. Павлова, А. Н. Геоинформационное моделирование речного бассейна по данным спутниковой съёмки SRTM (на примере бассейна р. Терешки) / А. Н. Павлова // Известия Саратовского университета. — 2009. — Т. 9. — Сер. Науки о Земле. — Вып. 1. — С. 39—44.
6. Муравьёв, Л. А. Высотные данные SRTM против топографической съёмки / Л. А. Муравьёв // Всё о геологии. Проект геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова. — Режим доступа: <http://geo.web.ru/db/msg.html?mid=1177761>. — Дата доступа: 31.10.2015.
7. Погорелов, А. В. Морфометрия рельефа бассейна реки Кубани: некоторые результаты цифрового моделирования / А. В. Погорелов, Ж. А. Думит // Географические исследования Краснодарского края. — Вып. 2. — Краснодар, 2007. — С. 7—23.